

Научная статья

УДК 57.042

doi: 10.28983/asj.y2022i2pp60-66

Бактерии для стимулирования роста и повышения продуктивности яровой пшеницы в условиях Зауральской степи

Максим Данилович Тимергалин¹, Тимур Вилевич Рамеев¹, Арина Владимировна Феоктистова¹, Зуфар Рафкатович Султангазин², Данил Альмирович Шарипов¹, Сергей Павлович Четвериков¹

¹Уфимский Институт биологии – обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук, г. Уфа, Россия

²Башкирский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук, г. Уфа, Россия

e-mail: chelab007@yandex.ru

Аннотация. В работе представлены данные трехлетних полевых исследований в условиях Зауральской степной зоны. Выявлен положительный эффект обработки штаммом бактерий *Pseudomonas protegens* ДА1.2 совместно с гербицидами разной химической природы (чисталан и наномет) в условиях засухи. Инокуляция бактериями приводила к повышению урожайности яровой пшеницы при комбинированном стрессе за счет ростостимулирующего действия бактерий на растения и нивелирования токсичного действия гербицидов. Совместная обработка бактериями и гербицидами способствовала накоплению сырой массы растений и стимулированию роста побегов, поддержанию высокого относительного содержания воды, повышению концентрации хлорофилла в листьях. Внесение гербицидов разной химической природы по-разному влияло на содержание гормонов в побегах растений. В комбинации бактериальной обработки с гербицидом наномет отмечалось повышение содержания абсцизовой кислоты (АБК) и снижение уровня ауксинов (ИУК) в побегах растений пшеницы. При совместной обработке штаммом *Pseudomonas protegens* ДА1.2 с чисталаном концентрация АБК в побегах снижалась. Добавление бактерий в баковую смесь гербицидов при обработке приводило к повышению количества зерен в колосе, массы зерна с одного колоса. Максимальная прибавка урожайности относительно контроля отмечалась в вариантах совместной обработки штаммом бактерий *Pseudomonas protegens* ДА 1.2 с чисталаном или нанометом.

Ключевые слова: *Pseudomonas protegens* ДА1.2; чисталан; наномет; пшеница; гормоны растений; засуха.

Для цитирования: Тимергалин М. Д., Рамеев Т. В., Феоктистова А. В., Султангазин З. Р., Шарипов Д. А., Четвериков С. П. Бактерии для стимулирования роста и повышения продуктивности яровой пшеницы в условиях Зауральской степи // Аграрный научный журнал. 2023. № 2. С. 60–66. <http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2022i2pp60-66>.

AGRONOMY

Original article

Bacteria to stimulate the growth and increase the yield of bread spring wheat in the conditions of the Trans-Ural steppe

Maxim D. Timergalin¹, Timur V. Rameev¹, Arina V. Feoktistova¹, Zufar R. Sultangazin², Danil A. Sharipov¹, Sergei P. Chetverikov¹

¹Ufa Institute of biology, Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences, Ufa, Russia

²Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences, Bashkir Research Institute of Agriculture, Ufa, Russia
e-mail: chelab007@yandex.ru

Abstract. The paper presents data from three years of field research in the conditions of the Trans-Ural steppe zone. The positive effect of treatment with a strain of bacteria *Pseudomonas protegens* DA1.2 together with herbicides of different chemical nature (chistalan and nanomet) in drought conditions is shown. Inoculation with bacteria led to an increase in wheat yield under combined stress due to the growth-stimulating effect of bacteria on plants and leveling the toxic effect of herbicides. Treatment with bacteria and herbicides contributed to the



accumulation of raw plant mass and stimulating the growth of shoots, maintained high relative water content, and increased the concentration of chlorophyll in the leaves. The introduction of herbicides of different chemical nature had a different effect on the hormonal status of plants. In combination of bacterial treatment with the herbicide nanomet, an increase in the content of abscisic acid (ABA) and a decrease in the level of auxins (IAA) in wheat plant shoots were noted. And when treated with strain *Pseudomonas protegens* DA1.2 with chistalan, the concentration of ABA in the shoots decreased. The addition of bacteria to herbicides during processing led to an increase in the number of grains in the ear, the weight of grain per ear. The maximum increase in yield relative to the control was observed in variants of joint treatment with bacteria of strain *Pseudomonas protegens* DA 1.2 with chistalan or nanomet.

Keywords: *Pseudomonas protegens* DA1.2; chistalan; nanomet; wheat; phytohormones; drought.

For citation: Timergalin M. D., Rameev T. V., Feoktistova A. V., Sultangazin Z. R., Sharipov D. A., Chetverikov S.P. Bacteria to stimulate the growth and increase the yield of bread spring wheat in the conditions of the Trans-Ural steppe. *Agrarnyy nauchnyy zhurnal = Agrarian Scientific Journal*. 2023;(2):60–66. (In Russ.). <http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2022i2pp60-66>.

Введение. В современном растениеводстве засуха является ключевым фактором, ограничивающим урожайность [1]. При этом промышленное сельское хозяйство предполагает широкое использование химических средств защиты растений, в частности гербицидов. В некоторых условиях применение гербицидов приводит к возникновению негативного эффекта на биохимическом и физиологическом уровнях непосредственно у культурных растений [2], который усиливается в совокупности с другими неблагоприятными факторами окружающей среды. Например, в условиях засухи гербицидный стресс может приводить к значительному снижению урожайности сельскохозяйственных культур [3]. Отмечается, что применение синтетического ауксина 2,4-Д до наступления стадии кушения может способствовать подавлению роста однодольных растений, в частности пшеницы [4]. При этом способность ослаблять фитотоксическое действие гербицидов проявляют ризосферные бактерии, обладающие ростостимулирующим эффектом (PGPR – plant growth-promoting rhizobacteria). Их применение способствует лучшему росту и развитию проростков пшеницы в присутствии гербицидов [5].

Стимулирующее действие PGPR достигается за счет синтеза регуляторов роста растений и фитогормонов [6], фосфатмобилизации, азотфиксации [7] и индуцирования системной устойчивости к засухе и засолению [8].

Работ, которые бы объясняли механизмы снижения гербицидного стресса, не так много. В основном они сосредоточены на изучении действия эндофитных микроорганизмов. Сделаны предположения, что эндофиты могут непосредственно способствовать детоксикации гербицидов за счет своей способности метаболизировать ксенобиотики [9, 10].

Цель данной работы – оценить действие PGPR штамма бактерий *Pseudomonas protegens* DA1.2 на показатели роста и развития, продуктивность мягкой яровой пшеницы в условиях комбинированного стресса, вызванного действием гербицидов и засухи.

Методика исследований. Опыты проводили в полевых условиях на экспериментальном поле БНИИСХ УФИЦ РАН в Баймакском районе Республики Башкортостан в 2019–2021 гг. Данный район относится к Зауральской степной зоне. В вегетационный период (по данным метеопоста с. Куянтау Баймакского района) сумма положительных температур в среднем за три года исследований составила 2256 мм. Количество осадков за вегетационный период яровой пшеницы (май – август) по годам 2019–2021 составило 124,9; 84,9 и 53,5 мм. Гидротермический коэффициент за вегетационный период пшеницы (май – август) по годам 2019–2021 – 0,5; 0,3; 0,3, что характерно для очень засушливой и сухой зоны увлажнения. Гидротермический коэффициент определяли как отношение количества осадков за вегетационный период к сумме температур выше 10 °С, уменьшенной в 10 раз [11].

Агрохимические показатели пахотного слоя почвы (чернозем выщелоченный): общее содержание гумуса – 6,3–8,2 %; рН – 5,6–6,1; содержание подвижных форм P₂O₅ и K₂O – 126,0–170,5 и 125,2–160,1 мг/кг соответственно (по Кирсанову), валовое содержание азота – 0,5 %. Культурой-предшественником была яровая пшеница.

Исследования проводили на мягкой яровой пшенице (*Triticum aestivum* L.) сорта Кинельская, которую высевали на участках площадью по 20 м². Агротехника характерна для данной географической зоны.





ческой зоны (сеялка СЗС-2.1, норма высева 500 шт./м² всхожих семян), каждый вариант выполняли в 3-кратной повторности.

Опыты проводили с устойчивым к рабочим концентрациям гербицидов штаммом бактерий *Pseudomonas protegens* ДА1.2 (коллекция УИБ УФИЦ РАН), с выявленными ростостимулирующим и антистрессовым эффектами за счет способности к синтезу ауксинов [12, 13].

Для уничтожения сорняков в посевах использовали гербициды против двудольных растений разной химической природы: чисталан Экстра (два действующих вещества (д.в.): 2-этилгексильный эфир 2.4-д и дикамба) и наномет (д.в. – метсульфурон-метил). Растения обрабатывали в фазе кушения ручным ранцевым опрыскивателем растворами гербицидов в регламентированной концентрации [14] и с добавлением в баковую смесь суспензии бактерий (титр бактерий в смеси 10⁸ КОЕ/мл).

Ростовые параметры (масса и длина побега), гормональный баланс растений, относительное содержание воды (ОСВ) и концентрацию хлорофиллов в листьях оценивали через две недели после обработки, т.е. в период активного роста (фаза кушения).

Содержание гормонов растений АБК и ИУК в побегах устанавливали методом иммуноферментного анализа [15], хлорофилл – с помощью анализатора Dualex Scientific+ (France). ОСВ в листьях определяли по следующей формуле:

$$(A - C)/(B - C) 100,$$

где А – сырая масса; В – тургорная масса; С – абсолютно сухая масса.

В ходе опытов выявляли численность сорных растений [16] и устанавливали экономический порог их вредности в посевах [17].

Результаты исследований. Обработка растений гербицидами на раннем этапе развития (фаза кушения) приводила к подавлению их роста. Масса побега у таких растений была меньше, чем в контроле (рис. 1А). Внесение бактерий в баковую смесь гербицидов способствовало увеличению массы побега как относительно контроля, так и относительно растений, обработанных только гербицидами. У растений, инокулированных бактериями, отмечали способность поддерживать высокое ОСВ в листьях. Оно было выше, чем у растений на фоне обоих гербицидов и в контроле (рис. 1Б).

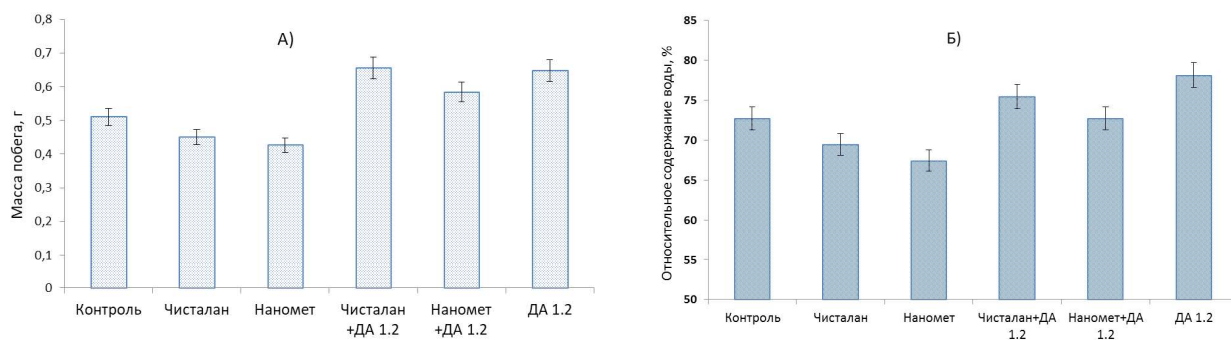


Рис. 1. Масса побега (А) и ОСВ в побегах (Б) пшеницы через 2 недели после обработки (2019–2021 гг.), указаны ошибки среднего, $n = 30$

Гербициды чисталан и наномет способствовали 2-кратному увеличению концентрации АБК в побегах (рис. 2А). Накопление АБК за счет закрытия устьиц привело к снижению интенсивности транспирации и являлось важной адаптивной реакцией в условиях стресса, вызванного дефицитом воды. Наибольшее содержание АБК в побегах наблюдалось при совместном использовании гербицида наномет и бактерий. В данном случае высокое ОСВ в клетках побега поддерживалось за счет снижения транспирации.

Бактерии *P. protegens* ДА1.2 в сочетании с чисталаном приводили к снижению уровня содержания АБК в побегах, эта закономерность также выявлялась нами ранее и в лабораторных условиях [10]. Ризосферные бактерии в условиях абиотического стресса (например, при засолении) способствуют накоплению АБК в корне [18]. Так как АБК при накоплении в корне увеличивает водный потенциал растений, то это приводит к усилению корневого давления за счет изменения гидравлической проводимости [19].

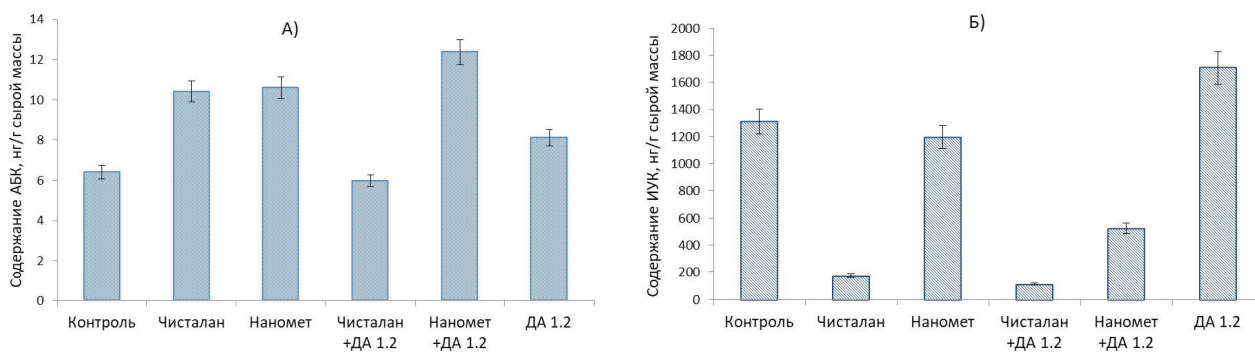


Рис. 2. Содержание АБК (А) и ИУК (Б) в побегах пшеницы через 2 недели после обработки (2019–2021 гг.), указаны ошибки среднего, n = 9

Инокуляция бактериями способствовала повышению содержания ИУК в побеге относительно контрольных значений (рис. 2Б). Изучаемые гербициды оказывали разное влияние на концентрацию ауксинов. Чисталан снижал содержание ИУК, причиной этого может являться синтетический ауксин 2,4-Д, который является действующим веществом этого препарата, и его принцип действия в нарушении естественного метаболизма ауксинов. При этом инокуляция бактериями растений пшеницы на фоне применения чисталана не вызывала изменений в концентрации ИУК.

Наномет не является гербицидом ауксиновой природы, в концентрации ауксинов не было достоверных отличий от контроля. Однако внесение бактерий способствовало 2-кратному снижению концентрации ИУК в побеге, что могло положительно повлиять на рост корня и повысить эффективность его всасывающей способности.

Содержание фотосинтетических пигментов уменьшается в условиях абиотического стресса [20], в том числе при действии гербицидов [21]. Это может служить маркером развития оксидативного стресса. Обработка гербицидами чисталан и наномет вызывала снижение уровня хлорофиллов в листьях пшеницы в условиях полевого эксперимента (рис. 3). Бактерии способствовали повышению содержания хлорофиллов, хотя их эффективность с разными гербицидами была различной, что может свидетельствовать о важной роли бактерий в преодолении стресса, вызванного гербицидами.

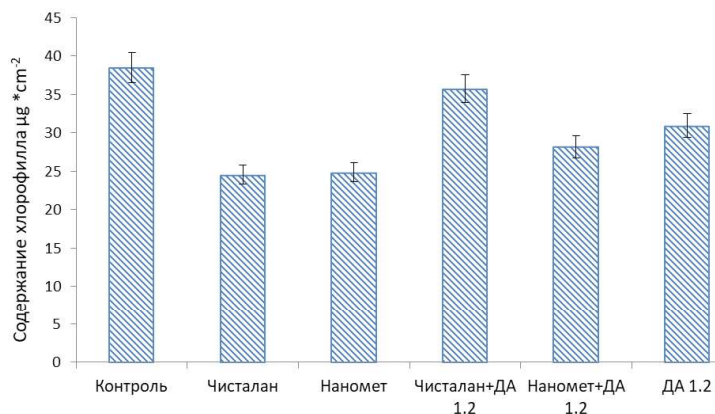


Рис. 3. Суммарное содержание хлорофиллов в листьях пшеницы через 2 недели после обработки (2019–2021 гг.), указаны ошибки среднего, n = 15

Сорная растительность на опытном участке представлена преимущественно двумя видами растений: вьюнок полевой (*Convolvulus arvensis* L.) и бодяк полевой (*Cirsium arvense* L.), хотя в условиях дефицита воды их численность (табл. 1) до обработок была невысокой (2,7–5,3 шт./м²). Тем не менее преодолевался экономический порог вредоносности (для бодяка полевого – 1–3 шт./м²), и применение химических средств защиты было целесообразным. Обработка гербицидами осуществлялась в наиболее чувствительный период развития бодяка (в фазе розетки) и приводила к его уничтожению в вариантах с чисталаном, а также к значительному сокращению в вариантах с нанометом (с 4,0 до 1,3 шт./м²). В вариантах обработки без гербицидов снижения численности сорняков не отмечали, а небольшой рост их при отсутствии химических средств был связан со способом размножения этого сорняка –



вегетативно отделившимися частями корней с находящимися на них почками (частями корневищ).

Таблица 1

Численность сорной растительности на пробных площадках за 2021 гг.

Вариант обработки	Вид сорной растительности	Кол-во побегов растений в каждой пробной площадке			Сумма по всем площадкам	Среднее кол-во, шт./м ²
		№ 1	№ 2	№ 3		
До обработки						
Контроль	Вьюнок полевой (<i>Convolvulus arvensis</i> L.)	0	1	1	2	2,7
Чисталан	Бодяк полевой (<i>Cirsium arvense</i> L.)	1	0	1	2	2,7
Наномет	Бодяк полевой (<i>Cirsium arvense</i> L.) Вьюнок полевой (<i>Convolvulus arvensis</i> L.)	1	1	1	3	4,0
Чисталан + ДА1.2	Бодяк полевой (<i>Cirsium arvense</i> L.)	1	0	1	2	2,7
Наномет + ДА1.2	Бодяк полевой (<i>Cirsium arvense</i> L.)	1	1	1	3	4,0
ДА1.2	Бодяк полевой (<i>Cirsium arvense</i> L.)	2	1	1	4	5,3
НСР ₀₅ 0,84						
После обработок						
Контроль	Вьюнок полевой (<i>Convolvulus arvensis</i> L.)	0	1	1	2	2,7
Чисталан	Отсутствуют	0	0	0	0	0
Наномет	Бодяк полевой (<i>Cirsium arvense</i> L.)	0	0	1	1	1,3
Чисталан + ДА1.2	Отсутствуют	0	0	0	0	0
Наномет + ДА1.2	Бодяк полевой (<i>Cirsium arvense</i> L.)	0	0	1	1	1,3
ДА1.2	Бодяк полевой (<i>Cirsium arvense</i> L.)	2	2	1	5	6,7
НСР ₀₅ 1,39						

По результатам эксперимента биологическая урожайность в среднем за 3 года составила 3,00 т/га в контроле (табл. 2).

Таблица 2

Показатели продуктивности пшеницы при обработке гербицидами и бактериями (2019–2021 гг.)

Показатель	Контроль	Чисталан	Наномет	Чисталан + ДА 1.2	Наномет + ДА 1.2	ДА 1.2	НСР ₀₅
Кол-во продуктивных стеблей, шт./м ²	600±11	585±10	584±16	628±11	620±12	628±13	19,39
Кол-во зерен в колосе, шт.	16,4±0,8	16,5±0,8	12,9±0,6	16,5±1,3	15,7±0,82	15,7±0,97	3,45
Масса 1000 зерен, г	31,9±1,8	34,8±2,0	32,3±1,7	34±1,6	34,1±1,8	32,7±1,8	3,06
Масса зерна с колоса, г	0,5±0,04	0,56±0,03	0,42±0,02	0,54±0,04	0,56±0,04	0,51±0,04	0,14
Биологическая урожайность зерна, т/га	3,00±0,08	3,28±0,07	2,45±0,09	3,39±0,08	3,47±0,08	3,20±0,09	0,87

Все показатели продуктивности были наименьшими при обработке нанометом, а добавление бактерий повышало показатели до уровня контроля или выше.

Наибольшая урожайность наблюдалась при совместных обработках гербицидами и ризобактериями *P. protegens* ДА1.2. Так, с нанометом биологическая урожайность составила 3,47 т/га





(около 0,5 т/га), а с чисталаном – 3,39 т/га (прибавка около 0,4 т/га). Из-за более высокой засоренности посевов в варианте с обработкой бактериями отдельно от гербицидов прибавка урожайности была менее значительной (0,2 т/га).

Заключение. По данным исследований, добавление ризосферных бактерий *Pseudomonas protegens* ДА1.2 в баковую смесь с гербицидами чисталан и наномет приводило к повышению урожайности пшеницы в условиях Зауральской степной зоны. Бактерии способствовали росту побегов, поддержанию высокого ОСВ, повышали содержание хлорофилла в побегах, а также участвовали в формировании гормонального ответа на стресс, вызванного действием засухи и гербицидов. При этом гербициды разной химической природы по-разному влияли на содержание гормонов в побегах растений: наномет в комбинации с бактериями способствовал повышению содержания абсцизовой кислоты и снижению уровня индолилуксусной кислоты, а обработка чисталаном совместно со штаммом *P. protegens* ДА1.2 вела к снижению концентрации АБК.

Эффекты нивелирования стрессов (химическое воздействие от гербицидов и засуха) бактериальным штаммом в начале вегетации растений в конечном итоге способствовали улучшению показателей продуктивности, положительное влияние от химической прополки сорной растительности при этом сохранялось. Существенная прибавка урожайности относительно контроля отмечалась в вариантах обработки баковыми смесями, содержащими бактерии *P. protegens* ДА 1.2, с гербицидом чисталан (30 %) или с гербицидом наномет (14 %).

Таким образом, изучаемый штамм бактерий можно рекомендовать для применения в технологии возделывания сельскохозяйственных культур в условиях Зауральской степи и в регионах с засушливым климатом.

Исследование выполнено в рамках ГЗ Минобрнауки России № 075-00326-19-00 по теме № ААА-А19-119021390081-1 и № 075-03-2021-607 от 29.12.2020 по теме №122031000309-7 с использованием оборудования РЦКП УФИЦ РАН «Агидель».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Abdulgani D. Crop Production and Yield Limiting Factors // Journal of Applied Sciences. 2021. No. 6(2). P. 325–349. DOI: <http://dx.doi.org/10.52520/masjaps.42>.
2. Contribution of Plant Growth Regulators in Mitigation of Herbicidal Stress / S. Varhney et al. // J Plant Biochem Physiol. 2015. Vol. 3. DOI: 10.4172/2329-9029.1000160.
3. Наумов М. М., Зимина Т. В., Хрюкина Е. И., Рябчинская Т. А. Роль полифункциональных регуляторов роста растений в преодолении гербицидного стресса // Агрехимия. 2019. Т. 5. С. 21–28.
4. Kumar S., Singh A. K. A review on herbicide 2,4-D damage reports in wheat (*Triticum aestivum* L.) // J. Chem. Pharm. Res. 2010. Vol. 2. No. 6. P. 118–124.
5. Alleviation of bleaching herbicide toxicity by PGPR strain isolated from wheat rhizosphere / M. Bourahla et al. // Analele Universității din Oradea, Fascicula Biologie. 2018. Vol. XXV. P. 74–83.
6. Dodd I. C., Zinovkina N. Y., Safronova V. I., Belimov A. A. Rhizobacterial mediation of plant hormone status // Annals of Applied Biology. 2010. No. 157. P. 361–379. DOI: 10.1111/j.1744-7348.2010.00439.
7. Ohkama-Ohtsu N., Wasaki J. Recent progress in plant nutrition research: cross-talk between nutrients, plant physiology and soil microorganisms // Plant Cell Physiol. 2010. Vol. 51. No. 8. P. 1255–1264. DOI: 10.1093/pcp/pcq095.
8. Yang J., Kloepper J. W., Ryu C. M. Rhizosphere bacteria help plants tolerate abiotic stress // Trends Plant Science. 2009. No. 14. P. 1–3. DOI: 10.1016/j.tplants.2008.10.004.
9. Tétard-Jones C., Edwards R. Potential roles for microbial endophytes in herbicide tolerance in plants // Pest Manage Sci. 2016. No. 72. P. 203–209.
10. Suryanarayanan T. S. Endophytes and weed management: a commentary. Plant Physiol Rep. 2019. No. 24. P. 576–579.
11. Селянинов Г. Т. Методика сельскохозяйственной характеристики климата // Мировой агроклиматический справочник. Л.; М., 1937.
12. Роль ауксинпродуцирующих бактерий в преодолении стресса растениями пшеницы в условиях обработки гербицидом Чисталан / М. Д. Тимергалин [и др.] // Агрехимия. 2020. № 11. С. 35–40. DOI: 10.31857/S0002188120110113.
13. Перспективный штамм бактерий *Pseudomonas protegens* для стимуляции роста сельскохозяйственных злаков, устойчивый к гербицидам / С. П. Четвериков [и др.] // Прикладная биохимия и микробиология. 2021. Т. 57. № 1. С. 87–94. DOI: 10.31857/S0555109921010220.
14. Государственный каталог пестицидов и агрохимикатов, разрешенных к применению на территории Российской Федерации. М.: Министерство сельского хозяйства РФ, 2020. 803 с.



15. Capacity of *Pseudomonas* strains to degrade hydrocarbons, produce auxins and maintain plant growth under normal conditions and in the presence of petroleum contaminants / M. Bakaeva et al. // *Plants*. 2020. No. 9. P. 379. DOI:10.3390/plants9030379.
16. Методы учета структуры сорного компонента в агрофитоценозах: учеб. пособие / И. В. Фетюхин [и др.]. Персиановский: Донской ГАУ, 2018. 76 с.
17. Экономические пороги вредоносности вредителей, болезней и сорных растений в посевах сельскохозяйственных культур: справочник. М.: Росинформагротех, 2016. 76 с.
18. Effects of Plant Growth Promoting Rhizobacteria on the Content of Abscisic Acid and Salt Resistance of Wheat Plant / T. Arkhipova et al // *Plants*. 2020. No. 9. P. 14–29. DOI:10.3390/plants9111429.
19. Влияние ингибитора рецепции этилена на рост, водный обмен и содержание абсцизовой кислоты у растений пшеницы при дефиците воды / Г. В. Шарипова [и др.] // *Физиология растений*. 2012. Т. 59. № 4. С. 619–626.
20. Ashraf M., Harris P.J.C. Photosynthesis under stressful environments: An overview // *Photosynth*. 2013. Vol. 51. No. I.2. P. 163–190.
21. Santos C. M., Silva M. A. Physiological and biochemical responses of sugarcane to oxidative stress induced by water deficit and paraquat // *Acta Physiol. Plant*. 2015. Vol. 37. No. I.8. P. 172.

REFERENCES

1. Abdulgani D. Crop Production and Yield Limiting Factors. *Journal of Applied Sciences*. 2021;6(2):325–349. DOI:http://dx.doi.org/10.52520/masjaps.42.
2. Contribution of Plant Growth Regulators in Mitigation of Herbicidal Stress / S. Varhney et al. *J. Plant Biochem Physiol*. 2015;3. DOI: 10.4172/2329-9029.1000160.
3. Naumov M. M., Zimina T. V., Khryukina E. I., Ryabchinskaya T. A. The role of polyfunctional plant growth regulators in overcoming herbicide stress. *Agrochemistry*. 2019;5:21–28. (In Russ.).
4. Kumar S., Singh A. K. A review on herbicide 2,4-D damage reports in wheat (*Triticum aestivum* L.). *J. Chem. Pharm. Res*. 2010;2(6):118–124.
5. Alleviation of bleaching herbicide toxicity by PGPR strain isolated from wheat rhizosphere / M. Bourahla et al. *Analele Universității din Oradea, Fascicula Biologie*. 2018;XXV:74–83.
6. Dodd I. C., Zinovkina N. Y., Safronova V. I., Belimov A. A. Rhizobacterial mediation of plant hormone status. *Annals of Applied Biology*. 2010;(157):361–379. DOI:10.1111/j.1744-7348.2010.00439.
7. Ohkama-Ohtsu N., Wasaki J. Recent progress in plant nutrition research: cross-talk between nutrients, plant physiology and soil microorganisms. *Plant Cell Physiol*. 2010;51(8):1255–1264. DOI: 10.1093/pcp/pcq095.
8. Yang J., Kloepper J. W., Ryu C. M. Rhizosphere bacteria help plants tolerate abiotic stress. *Trends Plant Science*. 2009;(14):1–3. DOI: 10.1016/j.tplants.2008.10.004.
9. Tétard-Jones C., Edwards R. Potential roles for microbial endophytes in herbicide tolerance in plants. *Pest Manage Sci*. 2016;(72):203–209.
10. Suryanarayanan T. S. Endophytes and weed management: a commentary. *Plant Physiol Rep*. 2019;(24):576–579.
11. Selyaninov G. T. Methods of agricultural characteristics of the climate. World agro-climatic reference book. L.; M., 1937. (In Russ.).
12. The role of auxin-producing bacteria in overcoming stress by wheat plants under treatment with Chistalan herbicide / M. D. Timergalin et al. *Agrochemistry*. 2020;(11):35–40. DOI: 10.31857/S0002188120110113. (In Russ.).
13. Promising bacterial strain *Pseudomonas protegens* to stimulate the growth of agricultural cereals, resistant to herbicides / S. P. Chetverikov et al. *Applied Biochemistry and Microbiology*. 2021;57(1):87–94. DOI: 10.31857/S0555109921010220. (In Russ.).
14. State catalog of pesticides and agrochemicals permitted for use on the territory of the Russian Federation. M.: Ministry of Agriculture of the Russian Federation; 2020. 803 p. (In Russ.).
15. Capacity of *Pseudomonas* strains to degrade hydrocarbons, produce auxins and maintain plant growth under normal conditions and in the presence of petroleum contaminants / M. Bakaeva et al. *Plants*. 2020;(9):379. DOI:10.3390/plants9030379.
16. Methods for accounting for the structure of the weed component in agrophytocenoses: textbook. allowance / I. V. Fetyukhin et al. Persyanovsky: Donskoy GAU; 2018. 76 p. (In Russ.).
17. Economic thresholds of harmfulness of pests, diseases and weeds in crops: a reference book. M.: Rosinformagrotekh; 2016. 76 p. (In Russ.).
18. Effects of Plant Growth Promoting Rhizobacteria on the Content of Abscisic Acid and Salt Resistance of Wheat Plant / T. Arkhipova et al. *Plants*. 2020;(9):14–29. DOI:10.3390/plants9111429.
19. Effect of ethylene reception inhibitor on growth, water metabolism and content of abscisic acid in wheat plants under water deficit / G. V. Sharipova et al. *Plant Physiology*. 2012;59(4):619–626. (In Russ.).
20. Ashraf M., Harris P.J.C. Photosynthesis under stressful environments: An overview. *Photosynth*. 2013;51(I.2): 163–190.
21. Santos C. M., Silva M. A. Physiological and biochemical responses of sugarcane to oxidative stress induced by water deficit and paraquat. *Acta Physiol. Plant*. 2015;37(I.8): 172.

Статья поступила в редакцию 25.04.2022; одобрена после рецензирования 27.12.2022; принята к публикации 30.12.2022.
The article was submitted 25.04.2022; approved after 27.12.2022; accepted for publication 30.12.2022.